

郭亚男,李仕裕,王发国,等. 28种优良木本花卉耐热性[J]. 江苏农业科学,2016,44(7):242-244,251.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.07.068

28种优良木本花卉耐热性

郭亚男^{1,2}, 李仕裕², 王发国², 李西贝阳²

(1. 仲恺农业工程学院, 广东广州 510225; 2. 中国科学院大学华南植物研究所, 广东广州 510650)

摘要:为评价和筛选适合于广东省广州市园林应用的节约型木本花卉,以广东省28种优良木本花卉的幼苗叶片为试验材料,通过相对电导率、丙二醛含量、脯氨酸含量和超氧化物歧化酶活性等生理生化指标测定及SPSS统计分析,对其耐热性进行了研究。结果表明:高温胁迫下,可将这28种植物按耐热性强弱归为4类,即:耐热型、中等耐热型、热中等敏感型、热敏感型。其中,桃金娘耐热性最差;耐热性最强的有香蒲桃、黄杨叶蒲桃、红皮糙果茶等。

关键词:木本花卉;生理生化;高温胁迫;耐热性

中图分类号: S685.01 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)07-0242-03

随着人们对居住环境要求的提高,城市园林植物多样性日益匮乏,如何因地制宜、适地适树、以低成本的投入而获得高效率的景观效益成为今后生态园林的建设目标,在这样的背景下,节约型园林建设应运而生^[1-2]。乡土木本花卉具有适应性强、特性各异、凸显文化,以及管理简单、易栽易繁等特点,在节约型园林和生态宜居环境建设中深受人们喜爱^[3]。但由于城市绿地立地条件与树种的原生生境有较大的区别,而适地适树是生态园林种植设计的基本原则,因此对新优木本花卉进行适应性研究应先行于推广应用。近年来,极端高温天气给园林绿化树种带来极大的生理伤害甚至死亡^[4]。应用相对电导率、丙二醛含量等指标评价植物耐热性已得到较广泛应用^[5-6]。目前,广东省广州市在节约型园林建设中,已筛选出适合天台绿化、垂直绿化、高架桥桥墩绿化的优良草种^[7-8],但针对节约型木本花卉植物的选育尚未有系统研究。华南地区是我国野生植物种质资源的分布中心,是筛选广州市节约型乡土木本花卉植物良好的种质资源库。为此,笔者参考黄柳菁等对广东省野生花卉资源评价筛选的结果^[9],同时对广东地区木本园林植物进行了系统调查^[10],选择了28种具有节约型评价意义并具代表性及较强地域特色的木本花卉,参考前人对农作物、草坪草、山茶科植物的耐热性研究^[11-14],对这28种植物进行生理生化测定和SPSS统计分析,评价其耐热性,旨在为广州市景观植物的树种选择及引种栽培提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 材 料

试验材料取自中国科学院华南植物园苗圃和从化苗圃共28种盆栽木本植物幼苗。相关名称及种属关系详见表1。

收稿日期:2015-05-26

基金项目:广东省广州市科技计划(编号:2012J2200060)。

作者简介:郭亚男(1990—),女,河南洛阳人,硕士研究生,从事园林植物研究。E-mail:719218520@qq.com。

通信作者:王发国,副研究员,从事植物分类及园林植物研究。

E-mail:wangfg@scib.ac.cn。

1.2 方 法

在夏季7月连续1周36~38℃的高温天气后取材,对不同植物的叶片进行生理生化指标测定。选取长势基本一致且无病虫害的植株随机取样。取材时,选择成熟叶片,取材部位和方向相对一致。试验重复3次,取平均值。用电导仪测定法^[15]测定相对电导率(REC)。用硫代巴比妥酸法^[15]测定丙二醛(MDA)含量。用酸性茚三酮法^[16]测定脯氨酸(Pro)含量。用NBT还原法^[16]测定超氧化物歧化酶(SOD)活性。

1.3 数 据 分 析

采用SPSS18.0软件进行方差分析、相关性分析和主成分分析。

2 结 果 与 分 析

2.1 高 温 胁 迫 对 28 种 优 良 木 本 花 卉 耐 热 性 生 理 指 标 的 影 响

高温胁迫下,28种优良木本花卉的相对电导率、丙二醛、脯氨酸、超氧化物歧化酶含量见表2。持续高温天气后,不同植物叶片的相对电导率、丙二醛、脯氨酸、超氧化物歧化酶活性均呈现出较大差异。高温胁迫下,22号植物相对电导率最高(76.12%),20号植物次之(75.52%),25号植物最低(16.35%);16号植物丙二醛含量为最高(0.0507 μmol/g),21号植物最低(0.0045 μmol/g);12号植物脯氨酸含量最高(237.51 μg/g),8号植物含量最低(35.94 μg/g);3号植物超氧化物歧化酶活性最高(70.44 U/g),1号植物活性最低(18.44 U/g)。

2.2 高 温 胁 迫 下 各 指 标 间 的 相 关 性 分 析

对28种植物叶片的4项生理指标进行相关性分析(表3),结果表明,丙二醛含量和超氧化物歧化酶活性间呈显著的正相关。

2.3 各 项 指 标 的 主 成 分 分 析

相对电导率、丙二醛含量、脯氨酸含量、超氧化物歧化酶活性等4个指标因子(主成分)分析结果见表4、表5。特征值是衡量因子的主要指标,特征值越大,它所对应的主成分变量所包含的信息越多。从表4可以看出,前2个主成分的累积贡献率已超过65.50%,因此抽取前2个主成分对测定指标进行分数排名。从表5可以看出,对于第一主成分而言,MDA

表1 试验植物

编号	植物名称	科属	拉丁名	园林用途
1	短序润楠	樟科润楠属	<i>Machilus breviflora</i> (Benth.) Hemsl.	园林观赏树种,可孤植、列植
2	越南山龙眼	山龙眼科山龙眼属	<i>Helicia cochinchinensis</i>	风景树、行道树
3	浙江红山茶	山茶科山茶属	<i>Camellia chekiangoleosa</i> Hu	园景树
4	红皮糙果茶	山茶科山茶属	<i>Camellia crapnelliana</i> Tutch.	园景树、庭园树
5	金花茶	山茶科山茶属	<i>Camellia petelotii</i> (Merr.) Sealy	园景树、庭园树
6	广宁红花油茶	山茶科山茶属	<i>Camellia semiserrata</i> Chi	园景树
7	香花糙果茶	山茶科山茶属	<i>Camellia suaveolens</i> Ye Chuang-xing	园景树
8	大头茶	山茶科大头茶属	<i>Polyspora axillaris</i> (Roxb. ex Ker Gawl.) Sweet	庭园园景树、绿阴树、行道树
9	小果石笔木	山茶科石笔木属	<i>Pyrenaria microcarpa</i> Keng	庭园树
10	坡垒	龙脑香科坡垒属	<i>Hopea hainanensis</i> Merr. et Chun	行道树、庭园树、风景树
11	肖蒲桃	桃金娘科肖蒲桃属	<i>Syzygium acuminatissimum</i> (Blume) DC.	庭园树、风景树
12	桃金娘	桃金娘科桃金娘属	<i>Rhodomyrtus tomentosa</i>	绿化树种,可孤植、丛植、片植
13	黄杨叶蒲桃	桃金娘科蒲桃属	<i>Syzygium buxifolium</i> Hook. et Arn.	盆景、绿篱、地被植物
14	香蒲桃	桃金娘科蒲桃属	<i>Syzygium odoratum</i> DC.	庭阴树、风景树
15	尖叶杜英	杜英科杜英属	<i>Elaeocarpus rugosus</i> Roxb.	风景树、行道树
16	翻白叶树	梧桐科翅子木属	<i>Pterospermum heterophyllum</i> Hance	庭园树
17	桃叶石楠	蔷薇科石楠属	<i>Photinia prunifolia</i> (Hook. et Arn.) Lindl.	庭园树
18	臀果木	蔷薇科臀果木属	<i>Pygeum topenyii</i> Merr.	庭阴树、园景树
19	石斑木	蔷薇科石斑木属	<i>Rhaphiolepis indica</i> (L.) Lindl. ex Ker	绿化树种,耐盐碱、耐水湿
20	岭南紫荆	苏木科紫荆属	<i>Cercis chuniana</i> Metc.	园景树、行道树
21	香花鸡血藤	蝶形花科鸡血藤属	<i>Callerya dielsiana</i>	地被植物、垂直绿化材料、盆景材料
22	水同木	桑科榕属	<i>Ficus fistulosa</i> Reinw. ex Bl.	绿阴树、风景树、防风树
23	白桂木	桑科波罗蜜属	<i>Artocarpus hypargyreus</i> Hance	园林绿化基调树种、行道树
24	伯乐树	伯乐树科伯乐树属	<i>Bretschneidera sinensis</i>	园景树、行道树
25	东方紫金牛	紫金牛科紫金牛属	<i>Ardisia elliptica</i> Thunb.	绿篱、庭园布置、大型盆栽
26	矮紫金牛	紫金牛科紫金牛属	<i>Ardisia humilis</i> Vahl	绿篱、庭园布置、盆栽
27	山血丹	紫金牛科紫金牛属	<i>Ardisia lindleyana</i> D. Dietr.	庭园布置、林下地被植物、盆栽
28	珊瑚树	忍冬科荚蒾属	<i>Viburnum odoratissimum</i> Ker - Gawl.	庭园绿篱材料

表2 高温胁迫下植物叶片的生理指标

植物编号	相对电导率 (%)	丙二醛含量 (μmol/g)	脯氨酸含量 (μg/g)	超氧化物歧化酶总活性 (U/g)
1	57.21	0.007 7	81.62	18.44
2	20.91	0.025 6	78.45	58.17
3	42.39	0.016 3	49.66	70.44
4	28.62	0.035 4	73.86	69.10
5	21.89	0.009 4	68.68	56.31
6	29.69	0.007 2	44.96	40.00
7	32.69	0.012 4	63.23	46.43
8	21.14	0.006 1	35.94	66.27
9	54.04	0.009 0	38.56	67.69
10	34.14	0.012 9	63.15	58.00
11	51.17	0.015 7	79.98	53.67
12	22.72	0.023 3	237.51	49.18
13	21.95	0.010 9	64.80	67.10
14	18.52	0.015 4	66.21	70.13
15	22.69	0.008 6	75.15	21.53
16	40.46	0.050 7	78.21	58.13
17	26.75	0.020 2	88.64	41.38
18	35.23	0.011 5	67.74	65.61
19	17.30	0.004 9	68.41	58.28
20	75.52	0.032 5	62.68	68.09
21	41.99	0.004 5	129.04	36.26
22	76.12	0.031 4	122.84	63.33
23	50.13	0.016 7	113.11	60.78
24	51.31	0.009 1	56.64	61.01
25	16.35	0.005 2	79.15	22.44
26	23.35	0.015 5	53.04	60.25
27	25.57	0.020 5	39.31	47.77
28	29.58	0.005 2	51.70	45.21

表3 相关系数矩阵

指标	相对电导率	丙二醛	脯氨酸	超氧化物歧化酶
相对电导率	1.000			
丙二醛	0.299	1.000		
脯氨酸	0.067	0.226	1.000	
超氧化物歧化酶	0.159	0.358*	-0.184	1.000

表4 初始特征值矩阵

指标	特征值	贡献率 (%)	累积贡献率 (%)
相对电导率	1.564	39.110	39.110
丙二醛	1.164	29.099	68.209
脯氨酸	0.800	20.010	88.220
超氧化物歧化酶	0.471	11.780	100.000

表5 因子荷载矩阵

指标	成分1	成分2
相对电导率	0.646	0.096
MDA	0.831	0.155
Pro	0.200	0.896
SOD	0.645	-0.573

的特征向量值最大,为0.831,是耐热性指标中最为关键的;对第二主成分而言,脯氨酸的特征向量值最大,为0.896,是耐热性指标中较为关键的。因此最终筛选MDA、脯氨酸2个指标用于测定这28种植物的耐热性,评价结果的可靠性较大。利用有关因子得分系数获得主成分表达式,进而得到这28种植物2个因子(主成分)得分的新变量(表6、表7)。

表6 因子得分矩阵

指标	成分1	成分2
相对电导率	0.413	0.082
MDA	0.532	0.133
Pro	0.128	0.770
SOD	0.412	-0.492

表7 28种植物2个因子(主成分)得分的新变量

编号	主成分1	主成分2	编号	主成分1	主成分2
1	-0.798	1.271	15	-1.550	0.883
2	0.245	-0.058	16	1.941	0.339
3	0.573	-1.035	17	-0.299	0.658
4	1.195	-0.350	18	0.090	-0.613
5	-0.596	-0.381	19	-0.874	-0.528
6	-1.034	-0.301	20	2.158	-0.341
7	-0.472	-0.074	21	-0.686	1.508
8	-0.608	-1.397	22	2.185	0.991
9	0.399	-1.194	23	0.727	0.577
10	-0.094	-0.442	24	0.211	-0.631
11	0.401	0.150	25	-1.833	0.859
12	0.452	3.355	26	-0.208	-0.737
13	-0.238	-0.793	27	-0.299	-0.527
14	-0.018	-0.827	28	-0.968	-0.364

2.4 28种植物的耐热性聚类分析

利用最小方差法,对28种植物高温胁迫下测得的相对电导率、丙二醛含量、脯氨酸含量、超氧化物歧化酶活性进行聚类分析(图1),结合利用主成分表达式得到的28种植物2个因子(主成分)的新变量(表7),将这28种植物分为4类:即耐热型、中等耐热型、热中等敏感型、热敏感型。热敏感型包括:桃金娘;热中等敏感型包括:水同木、白桂木和鸡血藤;中等耐热型包括:短序润楠、桃叶石楠、东方紫金牛、尖叶杜英;耐热型包括:黄杨叶蒲桃、香蒲桃、红皮糙果茶、金花茶、石斑木、越南山龙眼、肖蒲桃、翻白叶树、坡垒、臀果木、香花糙果茶、广宁红花油茶、珊瑚树、山血丹、大头茶、矮紫金牛、浙江红茶、伯乐树、小果石笔木、岭南紫荆。

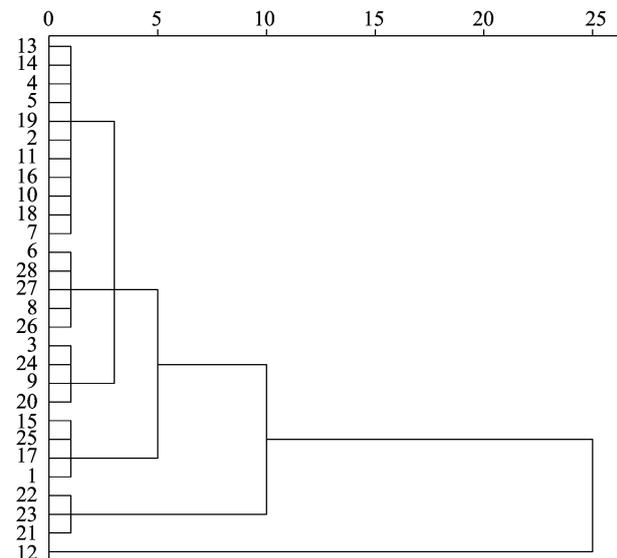


图1 28种植物耐热性聚类分析树状图

3 结论与讨论

高温胁迫下,植物体内会发生一系列的生理生化变化,如细胞膜脂过氧化加剧、脯氨酸含量增加、保护酶活性增强等^[17]。植物的耐热性是一段时间的高温天气下,植物体内形态结构和一系列生理生化过程综合作用的结果^[18]。不同种、不同品种植物对高温耐受性不同,因此,应选用普遍认可的生理生化指标对植物耐热性进行评价^[5-6]。本研究采用主成分分析法,将原来4个彼此相关的指标转换成2个相互独立的综合指标,通过SPSS统计分析,将不同生理生化指标进行系统聚类,综合考虑各种因素,有效减少了单一指标的试验误差。由于外界条件的复杂性和试验材料的差异性以及研究范围的局限性,其他优良木本植物的耐热性及生理指标之间的关系等尚有待进一步研究。本试验选择28种不同科属的植物进行耐热型比较,通过测定其离体叶片的相对电导率、丙二醛含量、脯氨酸含量、超氧化物歧化酶活性等4个指标并进行SPSS统计分析,将不同的生理生化指标进行主成分分析和系统聚类,结果表明:可将这28种植物按耐热性强弱归为4类,即:耐热型、中等耐热型、热中等敏感型、热敏感型。其中,桃金娘耐热性最差,其次是水同木、白桂木、鸡血藤,不建议这4种植物在全日照条件下大面积栽植或在大铺装广场周围、道路绿化等城市热岛效应较为明显的区域进行种植。其余的木本花卉能较好地适应广州市的高温天气,可以进行绿化种植。

虽然乡土树种具有适应性广、抗逆性强、不易感染病虫害、易管理、能自然繁衍成林的优点,越来越受到决策者和设计师们的喜爱,但目前在城市绿化中仍应用较少,外来物种仍然占据城市园林绿化建设的主角地位,主要原因是苗源不足、应用者知识缺乏以及研发力度不够。针对这一现象,笔者建议:首先,加强对乡土树种的宣传力度并提供优惠政策,制定适应本地的乡土树种绿化计划,大力推广新优树种;其次,加大优良乡土树种种苗(如耐旱、耐热型树种)的开发和培育规模,建立苗圃基地,为园林绿化提供充足的树种来源,同时加强树种新品种的研发和新技术(如节水、节能设备)的应用,以降低养护成本;再次,增加绿化工作者的综合知识,做到对乡土植物配置模式的灵活运用,注重群落空间的合理搭配,避免单一配置,构建以乡土木本植物为主体、乔木树种为骨架的乔、灌、草多层次混交群落。

参考文献:

- [1] Von H C. Landscape planning facing the challenge of the development of cultural landscapes [J]. Landscape and Urban Planning, 2002, 60(2): 73-80.
- [2] 庄雪影. 发挥华南植物资源优势,把广州建设成名副其实的生态园林城市[J]. 广东园林, 2001(1): 5-7.
- [3] 刘建国. 浅议节约型园林视角下的树种设计原则[J]. 河北旅游职业学院学报, 2011, 16(1): 79-81.
- [4] 景德珍, 赵玲, 陈世梅, 等. 高温天气对城区绿化植物的伤害及预防措施[J]. 现代农业科技, 2014(15): 272-273, 275.
- [5] 胡永红, 蒋昌华, 秦俊. 植物耐热常规生理指标的研究进展[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(1): 192-195.
- [6] 陈立松, 刘星辉. 植物抗热性鉴定指标的种类[J]. 干旱地区农业

平,可能是因为海盐中存在一些能促进植物生长的矿质,充分满足了植物生长对养分的需求,因而在较低浓度下促进了植物生长,使各项生理指标处于较优的状态。高浓度下脯氨酸含量、可溶性糖含量显著增加,说明此时植物可能通过可溶性糖、脯氨酸的积累来增强植物的渗透调节能力^[18-20]。高盐胁迫下,可溶性糖含量增加也有可能是由于高浓度盐胁迫下植物生长受抑制,导致糖利用减少,可溶性糖含量增加^[21]。

生物量是植物生长发育所产生的物质总量,可以直接反映植物的生长情况。盐生植物存在最适盐度,在一定盐度范围内对植物具有促进作用,高盐度则抑制植物的生长,如景天三七幼苗在低于 200 mmol/L 氯化钠胁迫下生物量未受到抑制,而 400 mmol/L 处理植株生长受到显著抑制^[22],与本研究相吻合。在 ≤50% 海盐胁迫下,番杏生物量并未显著减少;在大于 60% 海盐胁迫下,植株生物量及株高受到显著抑制。番杏在各个海盐浓度胁迫下生长的表现与其体内 MDA 含量、渗透调节物质相吻合,海盐胁迫下番杏表现出较强的适应性。

当海水浓度 ≤50% 时,植物的生长未受到抑制,植物叶片膜脂过氧化产物 MDA 含量较低、渗透调节物质的积累处于较低水平;而在 ≥60% 海水胁迫下,可溶性糖、脯氨酸的大量积累,有助于增强番杏渗透胁迫的适应性,减轻海盐对番杏的毒害作用。番杏药食兼具,可将其在滨海海水倒灌耕地进行开发应用。

参考文献:

- [1] 杨真,王宝山. 中国盐渍土资源现状及改良利用对策[J]. 山东农业科学,2015(4):125-130.
- [2] Munns R, Tester M. Mechanisms of salinity tolerance[J]. Annual Review of Plant Biology, 2008, 59(1):651-681.
- [3] 赵可夫,张万钧,范海,等. 改良和开发利用盐渍化土壤的生物学措施[J]. 土壤通报,2001,32(z1):115-119.
- [4] Glenn E P, Brown J J, Blumwald E. Salt tolerance and crop potential of halophytes[J]. Critical Reviews in Plant Sciences, 1999, 18(2):227-255.
- [5] 杨亚洲,张春华,郑青松,等. 碱蓬和滨藜对镉和钠吸收、转运及亚细胞分布特性的比较研究[J]. 农业环境科学学报,2015(4):619-626.
- [6] 研究,1997,15(4):72-77,92.
- [7] 简曙光,谢振华,敖惠修,等. 广州市屋顶自然生长的植物[J]. 中国野生植物资源,2004,23(6):35-37.
- [8] 李慧明. 广州市屋顶绿化植物的选择及生态效益研究[D]. 广州:华南理工大学,2011.
- [9] 黄柳菁,邢福武,周劲松,等. 广州野生观赏种子植物资源调查与观赏评价[J]. 福建林业科技,2010,37(2):82-89,93.
- [10] 李仕裕. 广州市节约型木本花卉评价与筛选[D]. 北京:中国科学院大学,2014.
- [11] 刘少卿,孙君灵,何守朴,等. 不同棉花种质资源耐热性苗期鉴定[J]. 核农学报,2013,27(7):1029-1040.
- [12] Zhao X D, Zhang J Y, Fan S Y, et al. Research progress of heat tolerance of *Brassica campestris* ssp. *chinensis* [J]. Agricultural

- [6] 王茜,校亮,唐翔宇,等. 盐碱胁迫和氮素供给对盐地碱蓬种子发芽与幼苗生长的影响[J]. 草业学报,2015(9):216-222.
- [7] 叶妙水,钟克亚,张桂和,等. 盐生经济作物北美海蓬子与盐渍地生态环境改造[J]. 草业科学,2006,23(6):6-14.
- [8] 史韵珊. 药用蔬菜——番杏[J]. 农家参谋,2007(4):17.
- [9] 翁跃进,宋景芝. 抗逆境蔬菜番杏的利用研究[J]. 中国种业,2000(3):39-40.
- [10] 胡慧娟,张尧挺,陈剑榕. 福建闽江口外海岸植物生态[J]. 海洋学报,2001,23(5):110-115.
- [11] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志——中名和拉丁名总索引[M]. 北京:科学出版社,2006.
- [12] Slupski J, Achrem - Achremowicz J, Lisiewska Z A. Effect of processing on the amino acid content of New Zealand spinach (*Tetragonia tetragonioides* Pall. Kuntze) [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2010, 45(8):1682-1688.
- [13] 郑炳松,王正加,等. 现代植物生理生化研究技术[M]. 北京:气象出版社,2006.
- [14] 刘宁,高玉葆,贾彩霞. 渗透胁迫下多花黑麦草叶内过氧化物酶活性和脯氨酸含量以及质膜相对透性的变化[J]. 植物生理学通讯,2000,36(1):11-13.
- [15] 陈建勋,王晓峰. 植物生理学实验指导[M]. 2版. 广州:华南理工大学出版社,2006:64-66.
- [16] 钟小仙,邹轶,许映君,等. 海雀稗对海盐胁迫的生理响应[J]. 江苏农业科学,2011,39(2):457-459.
- [17] 李晓雅,赵翠珠,程小军,等. 盐胁迫对亚麻芥幼苗生理生化指标的影响[J]. 西北农业学报,2015,24(4):76-83.
- [18] 刘爱荣,张远兵,钟泽华,等. 盐胁迫对彩叶草生长和渗透调节物质积累的影响[J]. 草业学报,2013,22(2):211-218.
- [19] 孟衡玲,张薇,卢丙越,等. 金银花幼苗对盐胁迫的生理响应[J]. 江苏农业科学,2015,43(4):247-249.
- [20] 王鑫,孔祥生. 盐胁迫对流苏树愈伤组织生理生化特性的影响[J]. 江苏农业科学,2014,42(11):54-57.
- [21] Nixon P J, Mullineaux C W. Regulation of photosynthetic electron transport[M]//Aro E M, Andersson B. Regulation of Photosynthesis. Springer Netherlands, 2001:533-555.
- [22] 田晓艳,刘延吉,张蕾,等. 盐胁迫对景天三七保护酶系统、MDA、Pro及可溶性糖的影响[J]. 草原与草坪,2009(6):11-14.

(上接第244页)

- [13] 汤聪,郭微,刘念,等. 几种广州地区屋顶绿化植物耐热性的测定[J]. 北方园艺,2013(11):62-65.
- [14] 李辛雷,李纪元,范妙华,等. 山茶属主要物种耐热性研究[J]. 西北植物学报,2006,26(9):1803-1810.
- [15] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社,2000.
- [16] 陈建勋,王晓峰. 植物生理学实验指导[M]. 广州:华南理工大学出版社,2002.
- [17] Wahid A, Gelani S, Ashraf M, et al. Heat tolerance in plants: an overview[J]. Environmental and Experimental Botany, 2007, 61(3):199-223.
- [18] 王涛,田雪瑶,谢寅峰,等. 植物耐热性研究进展[J]. 云南农业大学学报,2013,28(5):719-726.